

Les karités (*Vitellaria paradoxa*) améliorent la matière organique et la fertilité du sol à trois niveaux de la toposéquence au Mali Sud

TRAORE Kalifa.¹, OLIVER Robert², GIGOU Jacques², GANRY Francis²

¹ IER BP E1449 Bamako (Mali), ² CIRAD AMIS TA 40/01, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France. robert.oliver@cirad.fr. jacques.gigou@cirad.fr. francis.ganry@cirad.fr.

Résumé

Dans les champs des paysans, des arbres (karités principalement) sont associés aux cultures, et forment un paysage de "parc à karités". Nous avons analysé leur influence sur les sols à trois niveaux d'une toposéquence au Sud Mali, sur un versant en pente faible (1 à 4%).

Les arbres sont plus nombreux en bas de toposéquence, sur les colluvions : les houppiers des arbres couvrent alors 8% de la surface totale. La production de feuilles par karité est aussi plus forte en bas de toposéquence. Les restitutions minérales par les feuilles atteignent, par m² : 19 g N ; 19 g K ; 29 g Ca, 10 g Mg, sous le houppier des arbres, en bas de toposéquence. Les teneurs en matière organique et en éléments minéraux des sols sont significativement augmentées sous les houppiers des arbres.

Ainsi les arbres améliorent la fertilité des terres cultivées, surtout sur les terres plus riches de bas de toposéquence.

Mots clés : Par arboré, agriculture paysanne, agroforesterie, matière organique du sol, région semi-arides.

Shea butter tree (*Vitellaria paradoxa*) improves soil organic matter and fertility at different positions in the soil catena in South Mali

Abstract

In peasant farmers' fields, trees (mainly shea butter) are interplanted with crops, and form a landscape known as a "shea butter parkland". We have analysed their influence on the soils at three levels in a South Mali catenary sequence, with a slope from 1 to 4%.

The trees are more numerous at the foot of the slope, in the colluvial zone, where the crowns cover 8% of the total area. Leaf production by the shea butter trees is also greater at the foot of the slope. Mineral recycling from the leaves, per m², are 19 g N ; 19 g K ; 29 g Ca, 10 g Mg, under the tree canopy at the foot of the slope. Soil organic matter and nutrient content of the soil are significantly increased under the tree canopy.

Consequently, the trees improve the fertility of cropped lands, specially on the more fertile soil at the foot of the slope.

Keywords: Shea butter parkland, farmers cultivation, agroforestry, soil organic matter, semi-arid Africa

Introduction

En Afrique de l'Ouest, les cultures paysannes sont traditionnellement associées à des arbres, qui forment un « parc agroforestier ». Dans les régions soudano-sahéliennes, les parcs dominés par le karité (*Vitellaria paradoxa*) et le néré (*Parkia biglobosa*) sont les plus fréquents (Bremen et Kessler, 1995). Yossi et traoré (1987) estiment que plus de 5 000 000 ha au Mali sont couverts par des associations de culture ou jachères avec des karités.

Dans la zone cotonnière de Mali Sud, comme dans les autres régions soudaniennes, des craintes ont été émises sur la durabilité des cultures, car des essais de longue durée ont montré des diminutions importantes des rendements, en raison de la diminution de la matière organique, de l'acidification et de l'épuisement minéral des terres sous culture (Pieri, 1989; Van der Pol, 1993). Cependant, les paysans cultivent certaines de leurs terres depuis plus de 30 ans : d'où l'hypothèse que les karités, conservés dans les champs des paysans, participent activement au maintien de la fertilité.

Plusieurs auteurs ont signalé les effets favorables des arbres sur les cultures. Kater et al., (1992) ont montré que le sol était plus riche sous le houppier des arbres qu'à l'extérieur; Louppe et Ouattara (1997) ont montré que les rendements de l'arachide et plus encore du maïs sont plus élevés sous le houppier que dans les champs ouverts. Cet effet des arbres peut avoir un intérêt économique quand la fertilisation minérale est faible, sur des sols chimiquement pauvres, faiblement tamponnés et sensibles à l'acidification (Pieri, 1989), car le recyclage des éléments minéraux des feuilles constitue alors un apport significatif pour les cultures.

L'apport de matière organique par la litière foliaire des arbres favorise l'activité biologique du sol (Young, 1995) et contribue à transformer profondément les propriétés du profil cultural (Ganry et Dommergues, 1993).

Nous avons quantifié la densité des arbres en fonction de la position dans la toposéquence, leurs restitutions organiques et minérales, et les modifications apportées par les arbres sur les teneurs en matière organique et en nutriments des sols sous houppier et hors houppier.

1 Matériel et méthodes

1.1 Description du site

1.1.1. Climat et agriculture

Cette étude a été réalisée sur une toposéquence située à 6°47'33" N de latitude, 12°55'48" W de longitude et 333 m d'altitude, dans le village de Konobougou, typique du paysage agricole du sud Mali. Le climat est de type soudanien avec une saison des pluies unique d'avril à octobre et une pluviométrie annuelle d'environ 800 mm (Berthe et al., 1991). La température moyenne mensuelle est de 27°C, avec un minimum de 20°C en janvier et un maximum de 34°C en avril. L'évapotranspiration est de 6 mm j⁻¹ en saison sèche et 4 mm j⁻¹ en saison des pluies.

Le cotonnier est la principale culture de rente et l'encadrement technique par la CMDT (Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles) permet une intensification relative. Cette culture est associée dans une rotation « souple » à celle du maïs, lorsque la fertilité des terres l'autorise, sinon à celles du sorgho ou du mil. Sorgho et mil ne reçoivent habituellement aucun engrais, mais ils bénéficient des reliquats des engrais apportés au cotonnier. Les apports organiques sont limités et tributaires de la présence sur l'exploitation d'un cheptel (bœufs de trait et/ou bêtes parquées ou de parours).

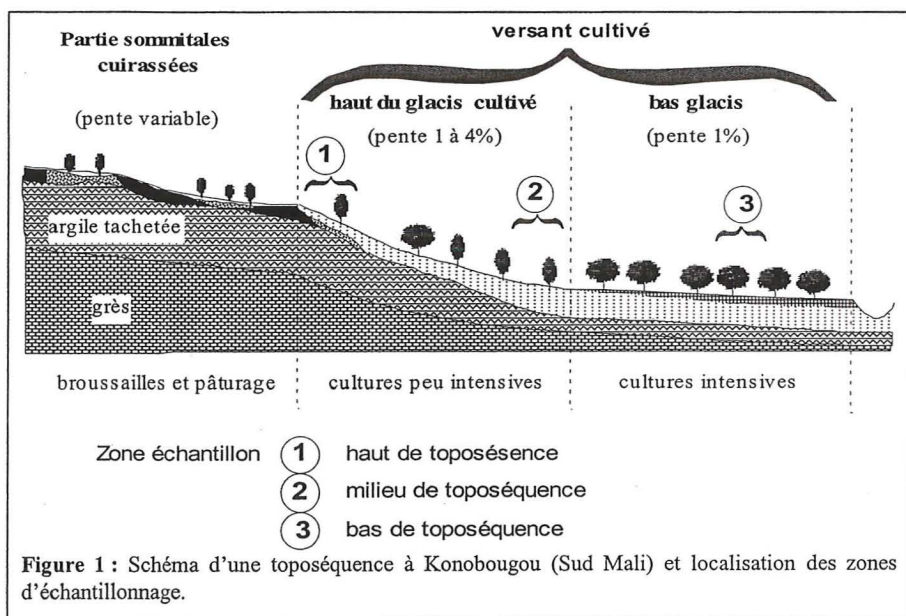
1.1.2 Les sols et leur utilisation

Les sols de la toposéquence étudiée sont classés ferrugineux tropicaux lessivés (CPCS 1967) issus de matériaux gréseux du précambrien auxquels sont associés des pélites (Dabin et Magnien, 1979). Ceux situés en haut ou au milieu de la toposéquence peuvent contenir des graviers. Ceux en

bas de toposéquence peuvent être soumis à des périodes d'engorgement en saison des pluies. Ces sols ont été décrits par Pieri (1970) dans l'Arrondissement voisin de Fana (Tableau I).

Tableau I : Principales données analytiques pour des profils de sols de l'arrondissement de Fana (Pieri, 1970).

| | Haut de toposéquence (Glacis de démantèlement) | | | | Bas de toposéquence (Sol ferrugineux tropical hydromorphe) | | | |
|----------------------|---|-------|-------|-------|---|------|-------|-------|
| profondeur (cm) | 0-15 | 15-35 | 35-70 | 70-95 | 0-9 | 9-20 | 20-45 | 45-75 |
| pH eau | 5,7 | 4,9 | 4,6 | 5,5 | 6,1 | 5,5 | 5,5 | 5,9 |
| Argile % | 4,8 | 7,0 | 9,6 | 25,2 | 13,5 | 30,1 | 45,9 | |
| C % | | 0,35 | | | 0,51 | 0,39 | 0,33 | |
| N mg g ⁻¹ | | 0,44 | | | 0,67 | 0,56 | 0,48 | |



La toposéquence que nous observons actuellement résulte de l'érosion régressive des versants et du dépôt de colluvions en bas de pente (figure 1). Le bas-glacis se raccorde aux croupes cuirassées par une zone en légère pente, sans colluvions, que l'on distingue facilement sur le terrain parce que les arbres sont moins nombreux et qu'il y a peu de karités. Trois sites d'observations ont été choisis :

- le site du haut de toposéquence situé à la limite entre le versant cultivé et les parties sommitales cuirassées. Le parc arboré est peu dense et il comporte de nombreuses espèces, dont quelques karités. Ce site a été défriché récemment ;
- le site du milieu de toposéquence placé à la limite entre le haut et le bas du glacis cultivé, dans la zone de sédimentation actuelle. Il y a des dépôts de sables importants, un ruissellement notable avec des zones sèches et des zones d'infiltration plus humides. Le parc arboré est formé de karités et d'autres espèces. Ce site est cultivé depuis 1956 ;

- le site du bas de toposéquence situé sur une zone typique du bas-glacis, plus ou moins hydromorphe. Il est couvert d'un parc arboré dense formé presque exclusivement de karités. Ce site est cultivé depuis très longtemps. Il était en culture manuelle, alternant avec la jachère, jusque dans les années 1960. Vers 1970, il est passé progressivement à la culture attelée chaque année, en traction bovine.

1.2 Dispositifs expérimentaux

1.2.1 Description des arbres dans les zones d'échantillonnage

Pour chacune des trois positions choisies dans la toposéquence, à l'aide du GPS (Global Positioning Satellite), nous avons compté le nombre d'arbres et calculé leur densité.

Dix karités sur chaque site ont été choisis et identifiés par un numéro. Leur circonférence à 1,30 m de hauteur, et la surface de leur houppier ont été mesurées. Le pourcentage de terre couverte par les houppiers a alors été calculé. Pour chaque arbre, la litière a été collectée et pesée à la fin de la saison sèche, après la chute complète des feuilles.

1.2.2 Prélèvement d'échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés sous le houppier et hors houppier. Sous le houppier, six échantillons ont été prélevés dans l'horizon 0-10 cm de chacun des arbres choisis (entre 1/3 et 2/3 du rayon du houppier). Ces échantillons ont été mélangés pour former un échantillon composite. Hors houppier, le barycentre de trois arbres voisins a été localisé et un échantillon composite a été constitué à partir de six échantillons de l'horizon 0-10 cm, pris dans un rayon de 2 m autour de ce point. Ces échantillons ont été tamisés à 2 mm et analysés.

1.2.3 Techniques analytiques

Les analyses physico-chimiques de terre ont été réalisées par le laboratoire du CIRAD à Montpellier, selon les méthodes certifiées ISO 9002. Le phosphore assimilable a été extrait selon la méthode Olsen modifiée Dabin (1968) et Roche et al. (1980). Le complexe d'échange et la C.E.C. ont été déterminés selon la méthode au chlorure de cobaltihexammine d'Orcini et Remy (1976). L'azote minéralisable a été déterminé selon le test de Waring-Bremner (1964) modifié selon le protocole de Kandeler (1995).

Les analyses de végétaux (composition minérale des feuilles de karité) ont été effectuées selon le protocole mis au point dans le cadre du C.I.I. (Pinta, 1973). Les éléments majeurs (P, K, Ca, Mg) sont dosés par ICP. L'azote et le carbone ont été déterminés par voie sèche (méthode de Dumas) à l'aide d'un appareil CHN. Les polyphénols ont été extraits par un mélange 1-1 eau/méthanol et mesurés par colorimétrie automatique à flux continu par le réactif de Folin-Colciatieu en utilisant une solution d'acide tannique comme étalon.

1.2.4 Traitement des données

Pour avoir une appréciation globale de la fertilité, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les principales caractéristiques analytiques des sols étudiés : A) la texture : sables totaux (Somsab) ; B) les indicateurs de qualité de la MOS : C, rapport C/N et N minéralisable (Nwmoy) ; C) la richesse minérale : K et Mn échangeables ; D) les indicateurs de la qualité du complexe adsorbant : CEC, proportion de la CEC saturée par les cations alcalin et alcalino-terreux (sat) ; E) l'acidité du milieu : pH KCl.

L'effet des arbres sur la fertilité a été testé en comparant les échantillons appariés (houppier vs hors houppier) pour chacun des sites topographiques.

2 Résultats

2.1 Le parc arboré dans la toposéquence

La densité des arbres et leurs espèces varient suivant la toposéquence : (A) en haut de la toposéquence, de nombreuses espèces d'arbres sont présentes (*Parkia biglobosa*, *Faidherbia albida*, *Sclerocarya birrea*, *Lannea humilis*, etc.) et seulement quelques karités ; (B) au milieu de la toposéquence, le karité devient dominant au milieu d'autres espèces ; (C) en bas de toposéquence, le karité représente 95% des arbres et seulement 3 espèces sont présentes (*V. paradoxa*, *Prosopis africana* and *Kigelia africana*). La densité des karité et le pourcentage de sol couvert varient donc (tableau II). Les taux de couverture du sol sont nettement inférieurs à ceux mesurés pour *F. albida* par Triboulet (1996) au Nord Cameroun.

Tableau II : Caractéristiques essentielles du parc à *V. paradoxa* d'une toposéquence au Sud Mali.

| Position topographique | Circonférence à 1,30m (m) ** | S. houppier (m ²) *** | Prod. litière (kg arbre ⁻¹) *** | Densité des karités (nombre ha ⁻¹) | Proportion couverte (%) |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|--|-------------------------|
| Haut | 1,11 (0,081) | 65,8 (5,87) | 21,3 (2,25) | 1,5 | 1 |
| Milieu | 1,58 (0,129) | 53,1 (7,90) | 35,0 (6,27) | 3,0 | 2 |
| Bas | 1,43 (0,068) | 31,8 (5,59) | 56,7 (5,35) | 24,0 | 8 |

NN : valeur moyenne ; (XX) intervalle de confiance de la moyenne à P = 0,05 ; ** valeurs significativement différentes à P = 0,01 ; *** valeurs significativement différentes à P < 0,001.

S. houppier : surface couverte par le houppier d'un arbre. Prod. litière : production annuelle de litière par arbre. Proportion couverte : part de la surface totale correspondant à la projection de la surface des houppiers.

2.2 La production de litière foliaire

Les feuilles de karité tombent pendant la saison sèche, principalement pendant les deux mois qui précèdent la saison des pluies suivante (Hall et al., 1996). Elles ont été collectées et pesées pour quantifier la production des différents arbres (table II).

Les arbres situés en haut de toposéquence sont les plus frêles et ils produisent moins de la moitié de la litière foliaire de ceux situés en bas de toposéquence. Mais curieusement ces arbres frêles ont une plus grande surface de houppiers. Les arbres en milieu de toposéquence ont des caractéristiques intermédiaires, pour la surface de houppier et pour la production de litière (table II).

Les retombées annuelles de litière ont été estimées à 0,32 kg MS m⁻² en haut, 0,66 kg MS m⁻² au milieu et 1,78 kg MS m⁻² en bas (avec une grande variation de 1,23 à 6,23 kg m⁻²).

Tableau III : Composition chimique de la litière de *V. paradoxa* d'une toposéquence au Sud Mali.

| Position topographique | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) |
|------------------------|---------|-------|-------|----------|--------|
| Haut | 0,908 a | 0,044 | 0,819 | 1,222 ab | 0,422 |
| Milieu | 0,842 b | 0,042 | 0,804 | 1,468 a | 0,433 |
| Bas | 0,789 c | 0,039 | 0,798 | 1,024 b | 0,409 |
| Moy.gén. | 0,837 | 0,041 | 0,805 | 1,271 | 0,421 |
| Sgn. | ** | ns | ns | * | ns |

Sgn : comparaison des moyennes selon un dispositif en randomisation totale ; ns : différences non significatives à P = 0,05 ; * différences significatives à P = 0,05 ; ** différences significatives à P = 0,01. NN : valeur moyenne ; a ; b ; c : deux valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de Newman-Keuls à P = 0,05.

Paradoxalement, la litière est plus riche en N en haut de toposéquence, alors que le sol est plus pauvre (tableau III). Les teneurs en P sont faibles, reflétant les faibles teneurs de cet élément dans le sol. Les teneurs en Ca sont fortes, car cet élément n'est pas redistribué lors de la sénescence des feuilles (Vitousek et Sandford, 1986).

Les quantités d'éléments minéraux restitués par la litière atteignent des valeurs élevées sous les houppier en bas de toposéquence : 194 kg ha⁻¹ pour N et 225 kg ha⁻¹ pour K₂O (tableau IV).

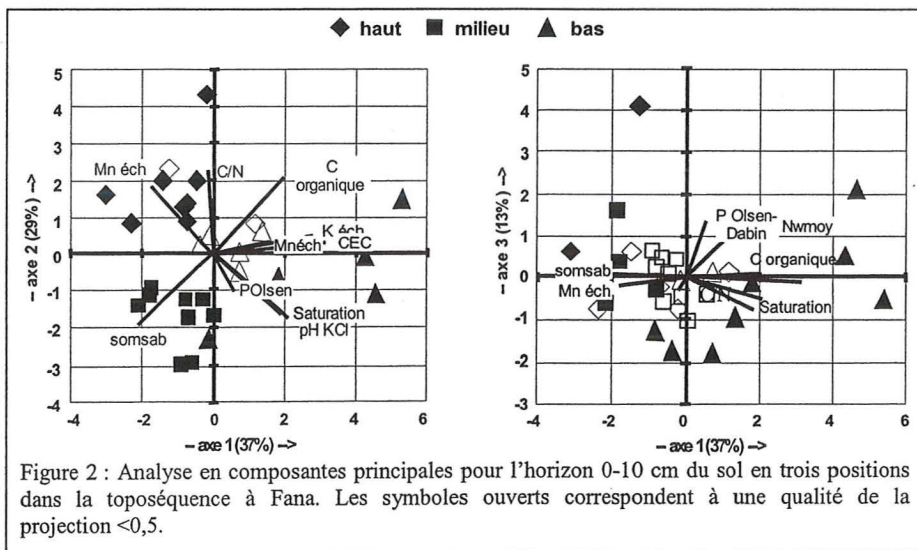
Tableau IV : Composition biochimique de la litière de *V. paradoxa* d'une toposéquence au Sud Mali.

| | N (g m ⁻²) | P (g m ⁻²) | K (g m ⁻²) | Ca (g m ⁻²) | Mg (g m ⁻²) | C (g m ⁻²) |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Haut | 2,75 | 0,13 | 2,65 | 4,18 | 1,39 | 162 |
| Milieu | 5,39 | 0,26 | 5,18 | 8,19 | 2,71 | 317 |
| Bas | 19,36 | 0,95 | 18,62 | 29,41 | 9,75 | 1140 |
| Moyenne | 9,25 | 0,45 | 8,8 | 12,26 | 4,6 | 490 |

2.3 Effet de *V. paradoxa* sur l'horizon superficiel (0-10 cm) du sol

2.3.1 Caractérisation globale de la variabilité de la fertilité sur la toposéquence

L'ACP (analyse en composantes principales) réalisée sur les échantillons prélevés dans la zone « hors houppier » permet une appréciation globale sur la composition physico-chimique de l'horizon de surface (figure 2).



Cette ACP fait ressortir l'axe principal 1 comme un axe corrélé positivement à la taille et la « qualité » du complexe adsorbant, l'axe 2 comme associé positivement à la MOS et négativement à la teneur en sables totaux, tandis que l'axe 3 dépend essentiellement des éléments assimilables autres que ceux participant au complexe adsorbant (P et N minéralisable à court terme). Seuls

quatre points sont mal représentés dans l'espace défini par les axes 1-2 et 3. Les trois groupes de points convenablement projetés se distinguent par :

- sites en « haut » vs « milieu » de la toposéquence : la séparation de ces deux groupes se fait essentiellement par leur position vis-à-vis de l'axe 2, c'est à dire sur la qualité et la teneur en M.O.S, plus forte en haut de toposéquence, qui est moins cultivé que le milieu ;

- site en « bas » de toposéquence vs les deux autres sites : une séparation nette vis-à-vis de l'axe 1 apparaît entre ces groupes. Les positions en bas de toposéquence sont caractérisées par une meilleure qualité de la garniture du complexe adsorbant avec une CEC mesurée au pH du sol plus élevée, des teneurs en K échangeable plus fortes, un pH moins acide et des teneurs en Mn échangeable plus faibles.

L'axe 3 de l'ACP n'est pas réellement discriminant (seuls 3 individus présentent avec cet axe un $\cos^2 > 0,5$). D'ailleurs, les positions dans la toposéquence sont affectées, hors houppier, de teneurs en P assimilable faibles (Roche et al., 1980) et en moyenne, proches dans toutes les situations. Quant à N minéralisable, autre constituant essentiel de cet axe, il est toujours, hors houppier, présent en très faible quantité et varie peu, quelle que soit la position dans la toposéquence.

2.3.2 Rôle des arbres dans la fertilité des sols le long de la toposéquence

Les échantillons de sol ayant été prélevés par couple « zone sous houppier » vs zone hors houppier » on peut comparer les valeurs par un test de T sur des échantillons appariés (tableau V).

Tableau V : Comparaison des valeurs moyennes des échantillons appariés sur les différentes position de la toposéquence pour les principaux caractères analytiques du sol (horizon 0-10 cm).

| Position toposéquence | | Haut ^a | | milieu | | Bas | |
|--|--------------------------|-------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Position relative au houppier des Karité | | sous | Hors | sous | hors | Sous | hors |
| C total | % | 0,391 | 0,338 | 0,360 | 0,210 | 0,480 | 0,320 |
| N total | mg g ⁻¹ | 0,274 | 0,240 | 0,274 | 0,174 | 0,348 | 0,249 |
| N Waring | mg kg ⁻¹ | 3,1 | 3,0 | 8,5 | 1,5 | 14,3 | 2,8 |
| C/N | | 14,3 | 14,1 | 12,9 | 12,1 | 13,7 | 13,0 |
| Pass | mg kg ⁻¹ | 14,0 | 14,0 | 19,7 | 19,2 | 17,2 | 17,6 |
| CEC | | 1,60 | 1,40 | 2,26 | 1,40 | 2,87 | 2,19 |
| K éch. | Cmol eq kg ⁻¹ | 0,189 | 0,132 | 0,200 | 0,121 | 0,221 | 0,179 |
| Mn éch | | 0,077 | 0,084 | 0,047 | 0,064 | 0,048 | 0,058 |
| pH KCl | | 5,0 | 4,7 | 5,7 | 5,4 | 6,1 | 5,7 |
| Sables totaux | % | 89,4 | 88,1 | 90,4 | 92,1 | 88,9 | 86,4 |

(a) : code du résultat du test de T comparaison des moyennes des échantillons appariés.

| | | | |
|---|--|--|---|
| Non significativement différentes à P =0,05 | Significativement différentes à P = 0,05 | Significativement différentes à P = 0,01 | Significativement différentes à P = 0,001 |
|---|--|--|---|

Dans tous les cas, la texture des paires de sols prélevés sous et hors houppier est identique, ce qui confirme que les prélèvements effectués peuvent être utilisés pour apprécier l'effet des arbres sur la fertilité. L'effet de la présence des arbres se manifeste différemment selon la position dans la toposéquence :

- en haut de toposéquence, aucun des critères analytiques pris en compte n'est, en moyenne, influencé par la présence des arbres ;

- en milieu de toposéquence, la zone sous houppier présente des caractéristiques plus favorables que la zone hors houppier (+ 71% pour la teneur en MOS, + 58% pour N total, + 65% pour la CEC et la teneur en K échangeable) ;

- en bas de toposéquence, l'effet des arbres sur les caractéristiques physico-chimiques du sol est net aussi. Les apports moyens de litière par unité de surface étant plus importants (tableau II), les différences sont significatives bien que les améliorations par rapport à la zone hors houppier sont moins marquées, parce que le sol a des caractéristiques plus favorables.

3 Discussion

Les caractéristiques physico-chimiques des sols sont nettement différenciées selon la position dans la toposéquence. Ces différences sont avant tout inhérentes à l'organisation des sols selon la toposéquence, largement expliquée par la genèse des sols (Bertrand, 1998). Toutefois, la pression anthropique influence aussi ces caractéristiques. Ainsi l'appauvrissement relatif en MOS des sols en milieu de toposéquence pourrait être expliqué par l'effet des eaux de ruissellement à partir des zones de plateau situées en amont, amplifié par une mise en culture extensive relativement ancienne. En bas de toposéquence, la fertilité naturelle du site, les conditions hydriques généralement plus favorables (réserve utile, éventuel accès à la nappe) favorisent l'investissement des agriculteurs pour l'intensification de l'agriculture. Il s'ensuit une synergie entre l'homme et la gestion du milieu qui est un facteur de durabilité.

En haut de toposéquence, l'encroûtement des horizons de surface, diminue considérablement l'infiltration, rendant le milieu sensible à la sécheresse. La culture reste extensive et la densité des arbres est faible (1,5 arbres ha^{-1}). En conséquence, la production de litière est limitée malgré l'étendue des houppiers. Cette litière peut être plus facilement dispersée par le vent, « diluant » ainsi l'effet des arbres sur l'ensemble du paysage. On ne constate donc pas d'effets significatifs des arbres sur la fertilité dans cette zone.

En milieu de toposéquence, la densité du parc arboré reste toujours faible (3,0 arbres ha^{-1}). Bien que le karité soit préservé lors des défrichements, certains arbres disparaissent progressivement. Les retombées de litière y sont tout de même plus conséquentes qu'en haut de toposéquence et l'impact sur la fertilité dans la zone sous le houppier est très net, rejoignant ainsi les conclusions rapportées par de nombreux auteurs (Nye et Greenland, 1960 ; Woomer et al., 1994). Cet effet se manifeste avant tout par une amélioration du taux de MOS entraînant par voie de conséquence, une amélioration de l'ensemble des propriétés d'échange.

En bas de toposéquence, la structure du parc arboré est totalement différente des autres positions sur la toposéquence avec une densité de peuplement de 24 arbres ha^{-1} , des houppiers de surface plus réduite et des retombées de litière importantes. Cette particularité du parc peut s'expliquer par la meilleure fertilité de cette zone et par une meilleure alimentation hydrique des arbres. Les techniques culturales employées (enfouissement lors du billonnage, décalé d'une année sur l'autre, des litières présentes sur le sol) pourraient alors favoriser une microfaune spécifique et induire une dynamique particulière à cette zone.

Conclusion

Les karités ont des impacts différents suivant leur position dans la toposéquence.

- en haut de toposéquence, le sol est peu fertile, sensible à la sécheresse et il a été défriché récemment. En conséquence, les arbres ont une faible densité et ils n'ont pas d'effets significatifs sur les caractéristiques du sol. Mais, parce que le défrichement est récent, les sols ont encore des teneurs en matière organique plus fortes que dans les autres positions ;

- en milieu de toposéquence, les arbres ont un impact net sur les caractéristiques du sol sous leurs houppiers. Mais il n'y a qu'un nombre limité d'arbres, si bien que leur effet global sur l'ensemble du champ est limité ;

- en bas de toposéquence, le sol plus fertile et une meilleure disponibilité en eau ont permis aux paysans de conserver davantage d'arbres ; ces arbres poussent bien et produisent beaucoup de litière. Alors les arbres ont un impact important sur le sol situé sous les houppiers et un impact global sur la fertilité du champ tout entier. En retour, cette situation favorable incite les paysans à intensifier la culture dans cette partie de la toposéquence et à y apporter une fertilisation organique et minérale plus forte.

Bibliographie

Berthe A.L., Blokland A., Bouare S., Diallo B., Diarra M.M., Geerling C., Mariko F., N'Djim H., Sanogo B., 1991. Profil d'environnement Mali-Sud. Institut d'Economie Rurale (IER) Bamako, Institut Royal des tropiques Amsterdam, Pays Bas, 79 p.

Bertrand R., 1998. Du Sahel à la forêt tropicale. Clés de lecture des sols dans les paysages ouest-africains. CIRAD, collection Repères, 272p.

Bertrand R., Gigou J., 2000. La fertilité des sols tropicaux. Paris, Maisonneuve et Larose (le technicien d'agriculture tropicale), 397 p.

Bonkougou E.G., 1987. Monographie du karité, *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn.F) Hepper, espèce agroforestière à usages multiples. IRBET/CNRST, Ouagadougou, 69 p.

Breman H., Kessler J.J., 1995. Role of woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the Sahelian countries. Advanced series in agricultural sciences 23, Springer Verlag, Berlin, 340 p.

Charreau C., Vidal P., 1965. Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, nutrition minérale et rendement des mils pennisetum au Sénégal. L'Agronomie Tropicale 20 : 600-626.

Dabin B., 1968. Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. In : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, 19-25 Novembre 1967. Paris : IRAT, Tome 1 : 99-115.

Dabin B., Maignien R., 1979. Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. Cah. ORSTOM, ser. Pédol., XVII, 4 : 235-257.

Doucouré C.O., Healy Sean, 1999 : Evolution des systèmes de production de 94/95 à 97/98. Impact sur les revenus paysans. Bamako, CMDT-DPCG, 13 p + annexe.

FAO/FAOSTAT, 1998. Agriculture – Database –fertilizers. In <http://apps.fao.org/lim500/nph-wrap.pl?Fertilizers&Domain=LUI&servlet=1>

FAO, 1976. Carte mondiale des sols. 1 : 5000000. Volume 1 : Légende. Volume 6 : Afrique UNESCO- Paris ed.

Ganry, F, Dommergues Y., 1993. Rôle des arbres fixateurs d'azote dans le maintien de la fertilité azotée des sols. In : Ganry F., Campbell B. (eds) : Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions. 15-19 november 1993, Dakar, Sénégal. Montpellier : CIRAD-CA : 53-67.

Hall J.B., Aebischer D.P., Tomlinson H.F., Osei-Amaning E., Hindle J.R., 1996. Vitellaria paradoxa : a monograph. School of Agricultural and Forest Sciences Publication Number : 8, University of Wales, Bangor, 105 p.

Kater L.J.M., Kante S., Budelman A., 1992. Karité (*Vitellaria paradoxa*) & Néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in south Mali. *Agroforestry systems*, 18 : 89-105.

Louppe D., Ouattara N.K., 1997. Influence du karité sur les productions agricoles du nord de la Côte d'Ivoire. In: CIRAD-Forêt-11^{ème} congrès forestier mondial. 10/13-22. Synthèse "après congrès". Montpellier, France.

Orsini L., Rémy J.C., 1976. Utilisation du chlorure de cobaltihexammine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. *Bulletin de l'association Française pour l'étude des sols*, 4 : 269-275.

Palm C A., Gachengo C N., Delve R J., Cadish G., Giller K E., 2000. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83 : 27-42.

Pieri C., 1970. Fana ; rapport pédologique. Bamako (Mali), Service de crédit agricole et d'équipement rural (S.C.A.E.R.). Nogent-sur-marne (France), CIRAD-IRAT ; 59 p + annexes.

Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Montpellier : CIRAD-IRAT, 444 p.

Pinta M., 1973. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption atomique. Oléagineux, 28^{ème} année, n°2 : 87-92.

Roche P., Grière L., Babre D., Calba H., Fallavier P., 1980. Le phosphore dans les sols intertropicaux : appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore. Institut Mondial du Phosphate, Paris, France, 48p.

Triboulet C., 1996. Identification des parcs à *Faidherbia albida* par télédétection. In : Cirad-Forêt Cahiers Scientifiques N°12. Les parcs à Faidherbia : 203-216.

Vitousek P.M., Sandford R.F., 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Ann rev. Ecol. Syst.* 17 : 137-167.

Waring S.A., Bremner J.M., 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 4922 : 951-952.

Woomer P.L., Martin A., Albrecht A., Resck D.V.S., Scharpenseel H.W., 1994. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In : Woomer P.L., Swift M.J.: The biological management of Tropical soil fertility. Chichester : John Wiley : 47-80.

Yossi H., Traoré M.L., 1987. Etude bibliographique sur le karité (*Butyrespermum parkii* (G. Don Kotschy)). DRFH Sotuba, Bamako, Mali, 63 p.

Young A., 1995. L'agroforesterie pour la conservation du sol. CTA, Wageningen, Pays bas, 194p.